

**Handläggare:**

Maria Andersson

Granskare:

Sofia Åström

Datum:

2018-02-13

Dnr:

2018/61/9.5

Uppdragsgivare:

Sweco Energuide AB

Er ref:

Carsten Staub

Karakteristiska havsvattenstånd vid Norrtäljeviken mynning i dagens och framtidens klimat

Sweco Energuide AB är i behov av uppgifter om karakteristiska havsvattenstånd vid Norrtälje i dagens (2018) och framtidens klimat (2100) och har gett SMHI i uppdrag att ta fram dessa uppgifter. Karakteristiska vattenstånd baseras på årens högsta respektive lägsta observerade vattenstånd och innehåller följande uppgifter:

- HHW Högsta högvattenstånd (Högsta av årens högsta vattenstånd)
- MHW Medelhögvattenstånd (Medel av årens högsta vattenstånd)
- LHW Lägsta högvattenstånd (Lägsta av årens högsta vattenstånd)
- MW Medelvattenstånd
- HLW Högsta lågvattenstånd (Högsta av årens lägsta vattenstånd)
- MLW Medellågvattenstånd (Medel av årens lägsta vattenstånd)
- LLW Lägsta lågvattenstånd (Lägsta av årens lägsta vattenstånd)

Uppgifterna anges i cm relativt medelvattenytan, samt i höjdsystemen RH00, RH70 och RH2000.

Norrtälje ligger mellan SMHI:s mätstationer av havsvattenstånd vid Forsmark (norr om) och Stockholm (söder om). Stockholms mätserie är den som bedöms vara mest representativ för Norrtäljeviken mynning. Vid Norrtälje, som ligger längst in i Norrtäljeviken, kan vattenståndet bli högre än vid vikens mynning vid friska till hårda pålandsvindar. Beräkningar av denna uppstuvningseffekt har tagits fram tidigare för ostliga vindar med en hastighet på 22-24 m/s (medelvind) och redovisas i SMHI Rapport Nr. 2008-4 (Ref. 1). Nya beräkningar av uppstuvningseffekten i Norrtäljeviken har inte utförts inom detta uppdrag.

Observationer av havsvattenståndet med en tidsupplösning på en timme startade redan 1889 i Stockholm och utgör ett gott underlag statistiskt sett.

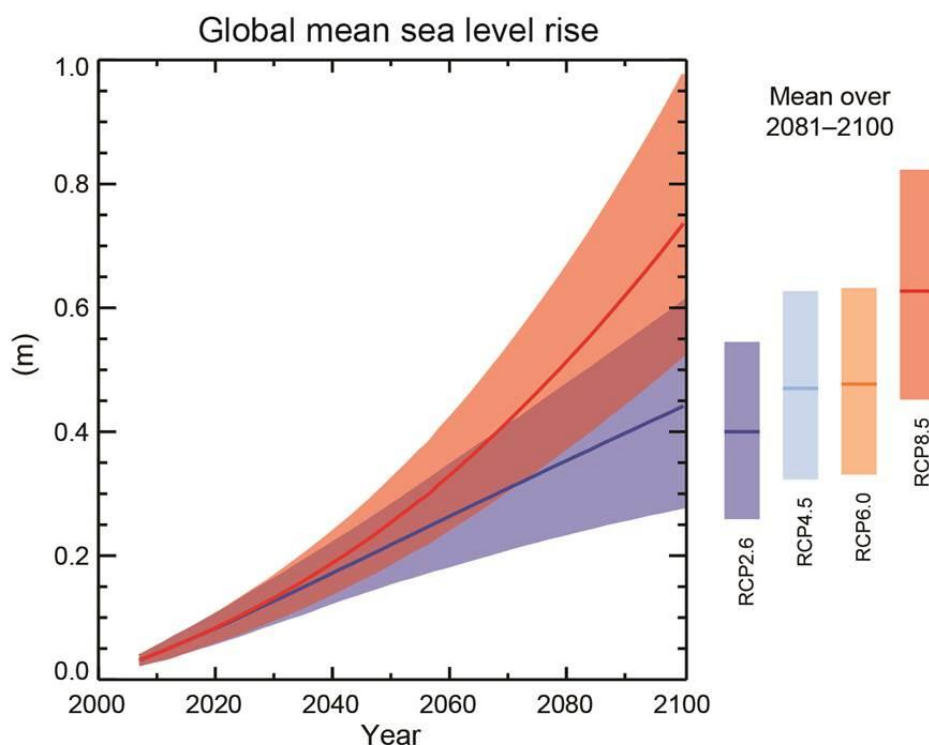
1 Det globala havsvattenståndet

Uppgifter om framtida havsnivåer baseras på de senaste resultaten från FN:s klimatpanel, IPCC AR5, som släpptes hösten 2013 (Ref. 2). Inget av scenarierna är mer sannolikt än det andra utan beror på politiska beslut framöver. Det scenario som leder till högst höjning av havsytan är RCP8.5 med fortsatt höga utsläpp av koldioxid.

Figur 1 visar den globala havshöjningen enligt fyra möjliga framtidsscenarion som ger olika stora utsläpp av växthusgaser. Tidsförloppet visas för det lägsta och det högsta scenariot, RCP2.6 respektive RCP8.5. De fyra staplarna visar höjningen för åren 2081-2100. Det högsta scenariot, RCP8.5, leder till en höjning av havsytan på mellan 52 och 98 cm fram till 2100.

De största osäkerheterna i IPCC AR5, avseende havsnivåhöjningen, är förknippade med avsmältning av isar. Sedan IPCC:s senaste utvärdering har ett ökat forskningsfokus på framförallt Västantarktis visat att avsmältningen har gått mycket snabbare under det senaste decenniet än vad som tidigare antagits (Ref. 3).

US Global Change program, som styrs av 13 statliga myndigheter i USA, har sammanställt en rapport om havsnivåhöjning (Ref. 4). Här finns sex scenarier av framtida global medelhöjning av havsnivån, framtagna med hjälp av ett antal aktuella forskningsstudier. Det högsta scenariot, ”extrem”, baseras på utvecklingen enligt klimatscenario RCP8.5, kombinerat med den maximalt fysiskt möjliga höjningen från issmältning (Ref. 5). En sammanställning av forskningsframsteg efter IPCC AR5 finns i SMHI Klimatologi Nr 48, 2017 (Ref. 6).



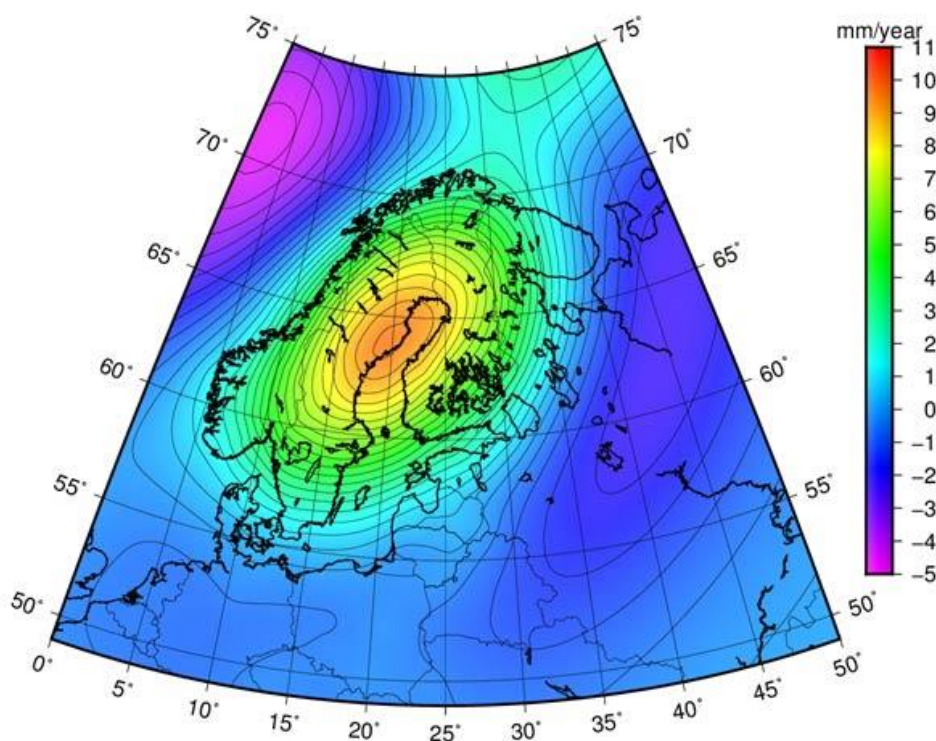
Figur 1. Projektioner av den globala medelvattenytans höjning fram till 2100 relativt 1986-2005. Resultaten är från en kombination av globala modeller. Tidsförloppet visas för det lägsta och det högsta utsläppsscenarierna, RCP2.6 respektive RCP8.5, dels medianvärdet och dels 5-95 % konfidensintervall av alla resultaten. Resultat för perioden 2081-2100 visas för alla RCP-scenarier som färgade vertikala staplar med motsvarande medianvärde som en horisontell linje. Det högsta scenariot, RCP8.5, leder till en höjning av havsytan på mellan 52 och 98 cm fram till 2100. Medianvärdet för åren 2081-2100 är 45-82 cm för RCP8.5 vilket visar att mycket av höjningen sker mot slutet av seklet. Källa: IPCC AR5, Summary for policy makers, Figure SPM.9.

2 Landhöjning

I Sverige pågår en landhöjning, vilket motverkar effekterna av stigande globala havsnivåer. Eftersom hav och land inte stiger med samma takt blir det en nettoeffekt som är positiv eller negativ vad gäller havsnivån relativt fixa punkter på land. Landhöjningen är som störst längs Bottniska vikens kust och i detta område är det ett sjunkande hav snarare än ett stigande hav som ställer till problem. Söderut avtar landhöjningen för att runt Skåne och Blekinge vara nära noll. Landhöjningen kan antas vara konstant i tiden inom det tidsintervall som analyseras här. Havsnivåerna tycks däremot stiga med ökande hastighet.

För beräkningar av framtida havsnivåer har en avvägd landhöjning på 0.59 cm/år använts, vilket är en interpolation av den avvägda landhöjningen vid Forsmark (0.68 cm/år) och vid Stockholm (0.54 cm/år).

I Figur 2 visas den avvägda landhöjningen, dvs. landhöjningen relativt geoiden enligt Lantmäteriets nya landhöjningsmodell NKG2016LU. Geoiden är den yta som ungefär sammanfaller med havsytans genomsnittliga nivå.



Figur 2. Avvägd landhöjning, dvs. landhöjning relativt geoiden (geoiden är ytan som ungefär sammanfaller med havsytans genomsnittliga nivå). Källa: Lantmäteriet NKG2016_lev.

Den nya landhöjningsmodellen gör att uppgifter om landhöjningen är något annorlunda än tidigare. SMHI använde tidigare den absoluta landhöjningen vid beräkningar av havsvattenstånd i ett framtida klimat och numera används den avvägda landhöjningen. På hundra år blir skillnaden mellan avvägd och absolut landhöjning 4-5 cm för Stockholm.

3 Medelvattenstånd i framtida klimat

Baserat på att havet stiger enligt den övre percentilen av IPCC:s klimatscenarier RCP8.5, och att landhöjningen är konstant, har förändringen av medelvattenytan beräknats för Norrtälje.

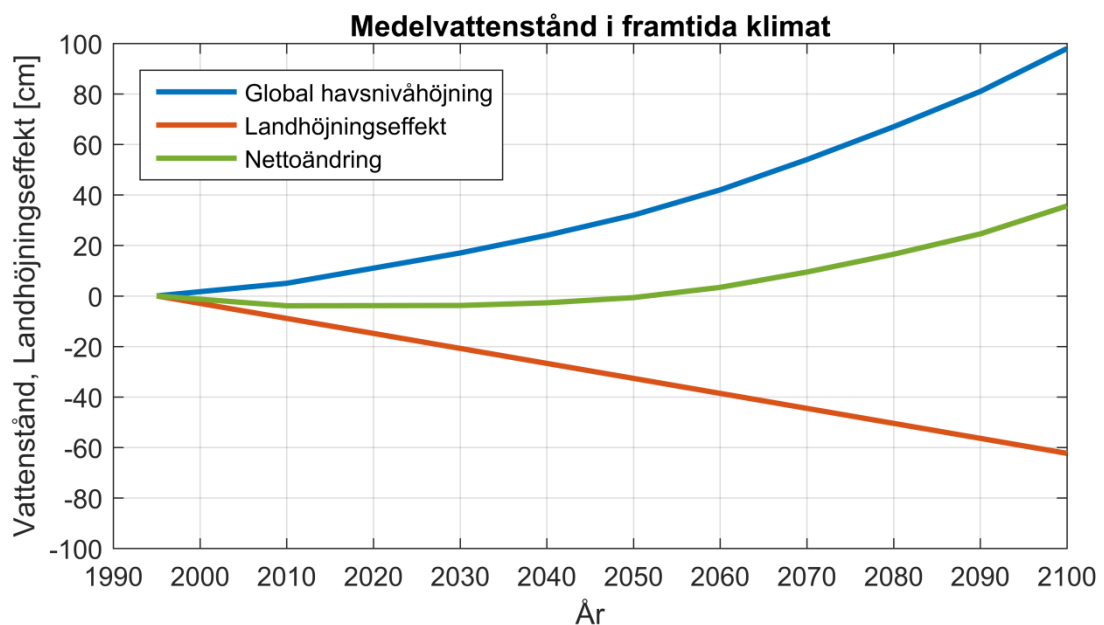
Havsvattenståndets höjning vid Norrtälje visas i Figur 3 för RCP8.5, förutsatt att havet stiger 98 cm fram till 2100. I figuren ser man medelvattenståndets ändring från 1995-2100. År 1995 ligger ungefär i mitten av referensperioden för klimatscenarierna, därför används detta år som start för höjningen. Landhöjningseffekten åskådliggörs negativ i figurerna eftersom den har en motverkande effekt på havsnivåhöjningen.

Medelvattenytans höjning fram till 2100 blir ca 36 cm baserat på övre percentilen för klimatscenariot RCP8.5. Höjningen av medelvattenytan börjar märkas först efter 2050.

Medelvattenytans förändring i framtida klimat har beräknats enligt följande:

$$MW_{2100} = MW_{1995} + SLR_{1995-2100} - LH_{1995-2100}$$

Där MW är medelvattenytan, SLR är Sea Level Rise och LH är landhöjningen.



Figur 3. Relativ förändring av medelvattenståndet från 1995-2100 för Norrtälje. Utvecklingen av medelvattenytan (blå) förutsätter en global havsnivåhöjning enligt RCP8.5, med 32 cm fram till 2050 och 98 cm fram till 2100. Landhöjningseffekten visas som röd linje. Nettoändringen (grön) blir ca 36 cm år 2100.

4 Karakteristiska vattenstånd i dagens klimat 2018

Karakteristiska vattenstånd i dagens klimat (2018) presenteras i Tabell 1 nedan. Uppgifterna anges i cm relativt medelvattenytan samt i höjdsystemen RH00, RH70 och RH2000 och baseras på mätserien från Stockholm för perioden 1889-2017.

Uppgifterna gäller för Norrtäljeviken mynning. För höga nivåer i Norrtälje bör vinduppstuvning i Norrtäljeviken beaktas, se Ref. 1.

Högsta vattenståndet har uppmätts till 127 cm i RH2000 och inträffade i januari 1983. Som lägst har vattenståndet uppmätts till -60 cm och inträffade i mars 1972.

Vid dimensionering används ofta ett vattenstånd med en given återkomsttid, exempelvis ett vattenstånd med en återkomsttid på 100 år. Karakteristiska vattenstånd är inte detsamma som vattenstånd med en given återkomsttid. Vattenstånd med 100 års återkomsttid har beräknats med olika statistiska metoder och listas för nio av SMHI:s mätstationer, däribland Stockholm, i SMHI Klimatologi Nr 48, 2017 (Ref. 6). Det högsta uppmätta vattenståndet i Stockholm (117 cm rel. MW) är inom konfidensintervallet för 100 års återkomsttid eller över beroende på statistisk metod.

Tabell 1. Högsta högvattenstånd (HHW), medelhögvattenstånd (MHW), lägsta högvattenstånd (LHW), medelvattenstånd (MW), högsta lågvattenstånd (HLW), medellågvattenstånd (MLW) samt lägsta lågvattenstånd (LLW) i cm relativt medelvattenytan samt i höjdsystemen RH00, RH70 och RH2000 vid Stockholm i dagens klimat (2018).

	Obs. rel. MW (cm)	RH00 (cm)	RH70 (cm)	RH2000 (cm)
HHW	117	74	110	127
MHW	62	19	55	71
LHW	36	-7	29	46
MW	0	-43	-7	10
HLW	-23	-66	-30	-14
MLW	-45	-88	-52	-35
LLW	-69	-112	-76	-60

5 Karakteristiska vattenstånd i framtida klimat 2100

Baserat på att den globala medelvattenytans höjning stiger enligt den övre percentilen av IPCC:s klimatscenarier RCP8.5 (98 cm fram till 2100), och att landhöjningen är konstant har karakteristiska vattenstånd i framtida klimat (2100) tagits fram, se Tabell 2 nedan.

Referensperioden för RCP-scenarierna är 1986-2005. De karakteristiska värdena i framtidens klimat (2100) utgår därför från motsvarande värden för år 1995. År 1995 ligger ungefär i mitten av referensperioden för klimatscenarierna, därför används detta år som start för höjningen.

Därtill antas att stormfrekvensen och intensiteten inte ändras i ett framtida klimat. Hur förändringar i klimatet kommer att påverka vindklimatet och därav högvattenhändelser i Nordsjön, och i förlängningen Östersjön, har visat sig vara svårt att fastställa eftersom det är svårt att skilja den naturliga variabiliteten i klimatet från effekter av regional klimatförändring (Ref. 7).

Klimatförändringar leder också till olika effekter som i sin tur påverkar stormars banor på motstridiga sätt (Ref. 8). Även om några studier indikerar en generell ökning av västliga vindar över Nordsjön så förefaller den naturliga variabiliteten i de oväderssystem som föranleder högvattenhändelser vara större än eventuella effekter av klimatförändringen (Ref. 9 och Ref. 7).

Extremhändelser i ett framtida klimat antas alltså inte bli högre/lägre i ett framtida klimat men de utgår från ett högre medelvattenstånd. Höjningen av medelvattenståndet i ett framtida klimat är inkluderat i värdena angivna i tabellen nedan.

En avvägd landhöjning på 0.59 cm/år har använts vid beräkningarna, vilket är en interpolation av den avvägda landhöjningen vid Forsmark (0.68 cm/år) och vid Stockholm (0.54 cm/år).

Uppgifterna anges i cm relativt medelvattenytan samt i höjdsystemen RH00, RH70 och RH2000 och gäller för Norrtäljevikens mynning. För höga nivåer i Norrtälje bör vinduppstuvning i Norrtäljeviken beaktas, se Ref. 1.

I SMHI Klimatologi 48, 2017 (Ref. 6) beskrivs forskningsframsteg efter IPCC AR5. Bland annat återges sannolikheter att nivåer från sex scenarier överskrids år 2100 enligt Kopp et al. (2014), Ref. 10. Exempelvis anges en mellanhög nivå på 1.5 m som global havsnivåhöjning år 2100 relativt år 2000. För att få en uppfattning om karakteristiska värden utifrån en global höjning av medelvattenytan på 1.5 m fram till 2100 kan skillnaden på ca 0.5 m (skillnaden mellan 1.5 m och 98 cm) adderas till värdena i tabellen nedan. Referensperioden är dock något annorlunda för de två scenarierna men det ger en skillnad på ett fåtal cm.

Tabell 2. Högsta högvattenstånd (HHW), medelhögvattenstånd (MHW), lägsta högvattenstånd (LHW), medelvattenstånd (MW), högsta lågvattenstånd (HLW), medellågvattenstånd (MLW) samt lägsta lågvattenstånd (LLW) i cm relativt medelvattenytan samt i höjdsystemen RH00, RH70 och RH2000 vid Norrtäljevikens mynning i framtidens klimat (2100). En avvägd landhöjning på 0.59 cm/år har använts vid beräkningarna, vilket är en interpolation av den avvägda landhöjningen vid Forsmark (0.68 cm/år) och vid Stockholm (0.54 cm/år).

	Obs. rel. MW (cm)	RH00 (cm)	RH70 (cm)	RH2000 (cm)
HHW	153	119	155	171
MHW	98	64	100	116
LHW	72	38	74	90
MW	36	2	38	54
HLW	13	-21	15	31
MLW	-9	-43	-7	9
LLW	-33	-67	-31	-15

6 Referenser

- Ref. 1 Nerheim, S. (2008) *Havsvattenstånd i Norrtälje – Nu och i framtiden*. SMHI Rapport Nr. 2008-4.
- Ref. 2 Church, J.A., Clark, P.U., Cazenave, A., Gregory, J.M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M.A., Milne, G.A., Nerem, R.S., Nunn, P.D., Payne, A.J., Pfeffer, W.T., Stammer, D. and Unnikrishnan, A.S. (2013) Sea Level Change. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1137–1216, doi: 10.1017/CBO9781107415324.026.
- Ref. 3 Turner, J., Orr, A., Gudmundsson, G. H., Jenkins, A., Bingham, R. G., Hillenbrand, C. D., and Bracegirdle, T. J. (2017) *Atmosphere - ocean - ice interactions in the Amundsen Sea Embayment, West Antarctica*. Reviews of Geophysics, 55(1), 235 - 276.
- Ref. 4 Sweet, W.V., Horton, R., Kopp, R.E., LeGrande, A.N. and Romanou, A. (2017b) Sea level rise. In: *Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I* [Wuebbles, D.J., D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, and T.K. Maycock (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, pp. 333-363, doi: 10.7930/J0VM49F2.
- Ref. 5 DeConto, R. M., and Pollard, D. (2016) *Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise*. Nature, 531(7596), 591-597.
- Ref. 6 Nerheim, S., Schöld, S., Persson, G. och Sjöström, Å. (2017) Framtida havsnivåer i Sverige. SMHI Klimatologi Nr. 48, 2017.
- Ref. 7 Schrum, C., Lowe, J., Meier, H.E.M., Grabemann, I., Holt, J., Mathis, M., Pohlmann, T., Skogen, M.D., Sterl, A. and Wakelin, S. (2016) *Projected Change – North Sea*. I Eds. Quante, M. och Colijn, F. North Sea Region Climate Change Assessment (NOSCCA): 175-217. Springer Open. ISBN 978-3-319-39743-6.
- Ref. 8 Shaw, T.A., Baldwin, M., Barnes, E.A., Caballero, R., Garfinkel, C.I., Hwang, Y.-T., Li, C., O’Gorman, P.A., Rivière, G., Simpson, I.R. and Voigt, A. (2016) *Storm track processes and the opposing influences of climate change*. Nature Geoscience 9, 656–664.
- Ref. 9 May, W., Ganske, A., Leckebusch, G.C., Rockel, B., Tinz, B. and Ulbrich, U. (2016) *Projected Change – Atmosphere*. I Eds. Quante, M. och Colijn, F. North Sea Region Climate Change Assessment (NOSCCA): 149-173. Springer Open. ISBN 978-3-319-39743-6.
- Ref. 10 Kopp, R. E., Horton, R. M., Little, C. M., Mitrovica, J. X., Oppenheimer, M., Rasmussen, D. J., and Tebaldi, C. (2014) *Probabilistic 21st and 22nd century sea - level projections at a global network of tide - gauge sites*. Earth's future, 2(8), 383-406.